

УДК 621.316

doi:10.20998/2413-4295.2019.01.14

ВПЛИВ ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ 6-10КВ ПАТ «ЧЕРНІГІВ ОБЛЕНЕРГО»

В. І. ТКАЧ¹, В.М. БЕЗРУЧКО², Р.О. БУЙНИЙ^{2*}

¹ відділ перспективного розвитку, ПАТ «Чернігівобленерго», Чернігів, УКРАЇНА

² кафедра електричних систем і мереж, Чернігівський національний технологічний університет, Чернігів, УКРАЇНА

*e-mail: buinyiroman@gmail.com

АНОТАЦІЯ Однофазні замикання на землю в мережах з ізольованою нейтраллю призводять до утворення ненормального режиму роботи мережі, який, у більшості випадків, переходить у коротке замикання, викликаючи знеструмлення споживачів та погіршуючи показники надійності електропостачання. Особливо актуальною зазначена проблема є у мережах 6-10кВ операторів систем розподілу в Україні та пострадянських країнах, у яких більшість мереж представлена розгалуженими повітряними лініями електропередавання. Не виключенням є і мережі ПАТ «Чернігівобленерго». Існує багато шляхів поліпшення показників надійності. Одні з яких направлені на підвищення структурної надійності електричної мережі, а інші – надійності електропостачання. Як правило перші повинні застосовуватися для нових електричних мереж, а другі – для існуючих, які знаходяться в експлуатації. Слід зазначити, що в ПАТ «Чернігівобленерго» вищезазначені електричні мережі експлуатуються понад 50 років. В умовах відсутності інвестицій для повної заміни існуючих електричних мереж повинні застосовуватися такі шляхи, які будуть найменш витратними та найбільш ефективними. Для їх обґрунтованого вибору необхідно знати розподіл видів пошкоджень у таких мережах та їх вплив на експлуатаційні показники надійності. У роботі проаналізовано статистичну інформацію по однофазним замиканням на землю в електричних мережах 6-10кВ усіх структурних підрозділів ПАТ «Чернігівобленерго» з 2012 по 2017 роки. Встановлено, що найбільша кількість знеструмлень припадає на пошкодження штирьової ізоляції (46,8% від загальної кількості) і спричиняє середньорічний недовідпуск електричної енергії 21,263 МВт·год/рік (45,9% від загального середньорічного недовідпуску). При цьому середнє значення тривалості одного знеструмлення, яке викликане тільки замиканнями на землю, складає біля 1,2 год/(рік·відкл), що перевищує допустимі норми. Показано, що для поліпшення надійності електропостачання споживачів у мережах 6-10 кВ ПАТ «Чернігівобленерго» необхідно, в першу чергу, зменшити тривалість знеструмлень, пов'язаних з пошуком пошкодженої ізоляції під час однофазних замикань на землю.

Ключові слова: розподільна мережа; ізольована нейтраль; повітряна лінія, замикання на землю; штирьова ізоляція; надійність електропостачання; знеструмлення

THE EFFECT OF SINGLE-LINE-TO-GROUND FAULTS ON THE OPERATIONAL RELIABILITY INDICATORS OF OVERHEAD LINES 6-10 kV PJSC «CHERNIGIVOBLENREGO»

V. TKACH¹, V. BEZRUCHKO², R. BUINYI²

¹ Department of Perspective Development, PJSC «Chernihivoblenergo», Chernihiv, UKRAINE

² Department of Electrical Power Systems and Networks, Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, UKRAINE

ABSTRACT Single Line-to-Ground faults in power networks with isolated neutral lead to abnormal operation modes of the network. In most of the cases it evolves into line-to-line fault through ground and power-cuts, therefore decreasing the reliability of power supply. Especially this problem is presented in 6-10kV networks in Ukraine which consist mostly of overhead power lines. PJSC «Chernihivoblenergo» also faces this issue. There are several ways to improve the indicators of reliability. Some methods improve the structural reliability of electric network, the others might focus on the reliability of power supply. Usually the former are used for the new networks while the latter are effective for existing networks. It should be noted that PJSC «Chernihivoblenergo» has been operating the above-mentioned electrical networks for more than 50 years. In the presence of financial constraints, the most efficient methods should be used. To select the most cost efficient and still very effective solutions for boosting the reliability indicators of power networks 6-10kV it is necessary to know the statistics of different fault types and their impact on the power supply. The goal of this research is to study the statistics of single-line-to-ground faults in 6-10kV networks of PJSC «Chernihivoblenergo» and their impact on the reliability indicators of operation. Considered is the statistical distribution of single-line-to-ground faults in 6-10kV power networks of PJSC «Chernihivoblenergo» in 2012-2017. It has been established that the largest number of blackouts is caused by damage to the pin insulation (46.8% of the total), which causes an average annual undersupply of electric energy of 21.263 MW·h per year (45.9% of the total average annual undersupply). At the same time, the average time of one blackout caused by only single-line-to-ground faults is about 1.2 hour/(year·off), which exceeds the permissible norms. It is shown that in order to improve the

reliability of power supply to consumers in the 6-10 kV networks of PJSC «Chernihivoblenergo», it is necessary, first of all, to reduce the duration of the blackouts associated with the search for damaged insulation during single-line-to-ground faults.

Keywords: power network; isolated neutral; overhead power line; ground faults; pin insulation; reliability of power supply; de-energizing

Вступ

Як відомо, однофазні замикання на землю (ОЗЗ) в електричних мережах з ізолюваною нейтраллю спричиняють утворення ненормальних режимів роботи. За таких режимів напруга на неущоджених фазах електрично зв'язаної мережі може досягати лінійного значення, що призводить до більш інтенсивного старіння ізоляції лінії електропередавання (ЛЕП), однак споживачі в такій електричній мережі продовжують отримувати живлення, тому майже всі ЛЕП напругою 6-35 кВ виконані з ізолюваною нейтраллю.

Загальна довжина ЛЕП напругою 6-35 кВ в електричних мережах з ізолюваною нейтраллю складає біля 85% від загальної сукупності мереж України усіх класів напруги, а повітряні лінії (ПЛ) напругою 6-10 кВ складають близько 73% від загальної довжини ЛЕП 6-35 кВ [1]. Саме на таких вітчизняних ПЛ з кожним роком спостерігається тенденція на збільшення кількості пошкоджень, зокрема пов'язаних з ОЗЗ, з подальшим їх переходом у міжфазні короткі замикання, і, як наслідок, до збільшення кількості та тривалості знеструмлення споживачів. Такі знеструмлення погіршують показники надійності електропостачання споживачів SAIDI, SAIFI та ENS [2], які у країнах Європейського Союзу на порядок менші ніж в Україні [3,4].

Існує багато шляхів поліпшення показників надійності. Одні з яких направлені на підвищення структурної надійності електричної мережі, а інші – надійності електропостачання [5-7]. Як правило перші повинні застосовуватися для нових електричних мереж, а другі – для існуючих, які знаходяться в експлуатації в ПАТ «Чернігівобленерго» понад 50 років. В умовах відсутності інвестицій для повної заміни існуючих електричних мереж перевага повинна надаватися таким шляхам підвищення показників надійності електропостачання споживачів, які будуть найменш витратними та найбільш ефективними.

Для вибору таких шляхів необхідно знати розподіл видів пошкоджень в електричних мережах 6-10кВ та їх вплив на експлуатаційні показники надійності.

Мета роботи

Дослідження ретроспективної інформації про види пошкоджень в мережах 6-10 кВ ПАТ «Чернігівобленерго» та встановлення впливу ОЗЗ на експлуатаційні показники надійності.

Виклад основного матеріалу

Під час експлуатації електричних мереж енергокомпанії, які займаються розподілом електричної енергії по мережах 0,38-150кВ, у відповідності до [8] зобов'язані збирати інформацію про виявлені дефекти та пошкодження у елементах електричних мереж 0,38-20кВ. Не виключенням є енергорозподільча компанія ПАТ «Чернігівобленерго», в кожному із районів електричних мереж (РЕМ) якої налагоджена така робота.

Інформація по виявлених дефектах у 21 РЕМ збирається обслуговуючим персоналом під час періодичних і позачергових оглядів та заноситься до так званих листків огляду з подальшою систематизацією по структурному підрозділу у журналі дефектів.

Для дослідження розподілу пошкоджень по видам та їх впливу на показники надійності електропостачання споживачів отримана ретроспективна інформація із РЕМ ПАТ «Чернігівобленерго» за 2012-2017 роки. Зазначена інформація була оброблена із розбивкою на найбільш масові види пошкоджень:

- пошкодження штирьової ізоляції;
- обрив проводу (або в'язки проводу до ізолятора);
- пробій вентильного розрядника;
- інші причини;
- не виявлено (пошкодження самоусунулося після автоматичного повторного включення (АПВ) та ручного включення (РПВ)).

До інших причин віднесені поодинокі знеструмлення електричної мережі із-за:

- падіння опор;
- пошкодження траверси;
- пошкодження трансформаторів струму;
- пошкодження кабельних вставок;
- пошкодження силового трансформатора на ТП 10/0,4кВ;
- пошкоджень в абонентській мережі;
- птахів та диких тварин.

Оскільки на балансі деяких РЕМ (Ніжинський, Прилуцький) є значна кількість КЛ, що проходять по містах, то під час аналізу ретроспективної інформації вони були виключені з розгляду.

Основним технічним показником, який характеризує експлуатаційну надійність електричної мережі та надійність електропостачання споживачів є кількість знеструмлень електричних мереж за рік експлуатації. На рис. 1 зображено розподіл загальної кількості знеструмлень, які викликані ОЗЗ в мережах 6-10кВ по РЕМ ПАТ «Чернігівобленерго».

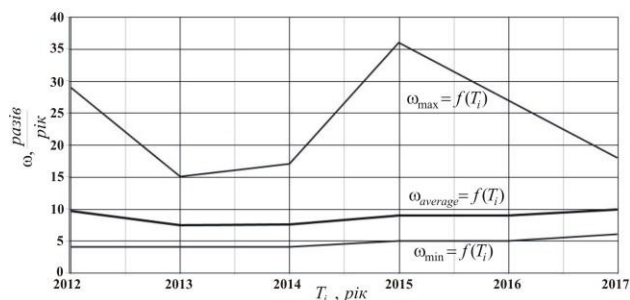


Рис. 1 – Розподіл загальної кількості знеструмлень, які викликані ОЗЗ по РЕМ ПАТ «Чернігівобленерго»

З рис. 1 видно, що мінімальна кількість знеструмлень, що викликані ОЗЗ, на один РЕМ ПАТ «Чернігівобленерго» з 2012 по 2017 рік змінювалася у вузькому діапазоні від 4 до 6 відкл/рік, а максимальне значення – в доволі широкому діапазоні від 15 до 36 відкл/рік. Середнє значення кількості знеструмлень за всіма РЕМ ПАТ «Чернігівобленерго» є більш стабільним в часі та знаходиться в діапазоні від 7,4 до 9,9 відкл/рік.

За отриманими показниками можна стверджувати, що електричні мережі відпрацювали свій нормативний термін експлуатації та потребують реконструкції, а подекуди і повної заміни [8].

Як відомо кількість знеструмлень в розподільних мережах пов'язана з їх довжиною, а саме зі збільшенням довжини зростає кількість пошкоджень [9,10]. Оскільки на балансі кожного РЕМ ПАТ «Чернігівобленерго» знаходиться різна довжина ПЛ 6-10 кВ, то для якісного аналізу статистичної інформації побудовано залежність кількості знеструмлень, які віднесені до сумарної довжини ПЛ 6-10кВ по кожному з РЕМ (див. рис. 2).

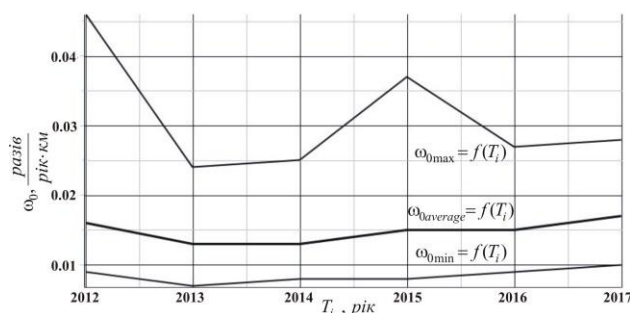


Рис. 2 – Розподіл загальної кількості знеструмлень, що віднесені до 1км ПЛ 6-10кВ, які викликані ОЗЗ по РЕМ ПАТ «Чернігівобленерго»

З рис. 2 видно, що середнє питоме значення кількості знеструмлень через ОЗЗ по мережах розподільній компанії ПАТ «Чернігівобленерго» є майже стабільним та знаходиться в діапазоні 0,013-0,017 разів/(рік-км). Найкращі показники по питомій кількості відключень, що викликані пошкодженнями під час ОЗЗ, мають Козелецький, Прилуцький, Н.Сіверський, Ніжинський та Бахмацький РЕМ (біля

0,01 разів/(рік-км)), а найгірші – Чернігівський, Срібнянський, Борзнянський та Варвинський (біля 0,022 разів/(рік-км)). Тобто найгірший показник перевищує найкращий у 2,2 рази.

На рис. 3 зображено розподіл за видами загальної кількості знеструмлень ПЛ 6-10кВ, які викликані ОЗЗ по усім РЕМ ПАТ «Чернігівобленерго».

З рис. 3 видно, що найбільша кількість знеструмлень, які викликані ОЗЗ, по ПАТ «Чернігівобленерго» припадає на пошкодження штирьової ізоляції повітряних ліній 6-10кВ (в середньому 46,8% від загальної кількості за 6 років).

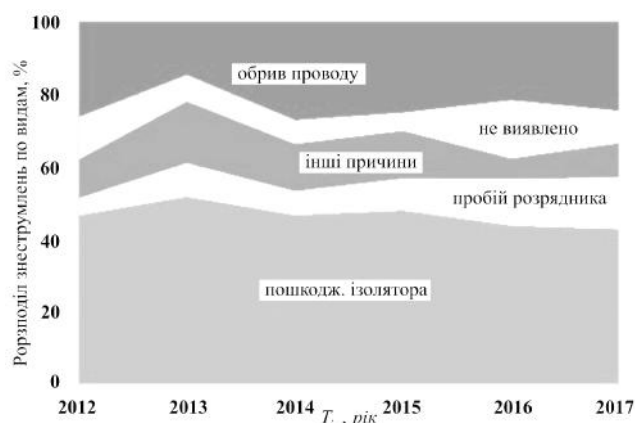


Рис. 3 – Розподіл за видами загальної кількості знеструмлень ПЛ 6-10кВ з 2012 по 2017 роки, які викликані ОЗЗ по усім РЕМ ПАТ «Чернігівобленерго»

Другою основною причиною пошкоджень є обриви проводу та в'язок проводу до ізоляторів ПЛ, яка в середньому призводить до 23,3% знеструмлень. Найменша кількість знеструмлень припадає на пошкодження розрядників, інших другорядних причин (зазначені вище) та невиявлених причин з розподілом 9,2%, 11,7% та 9,0% відповідно (див. рис. 4).

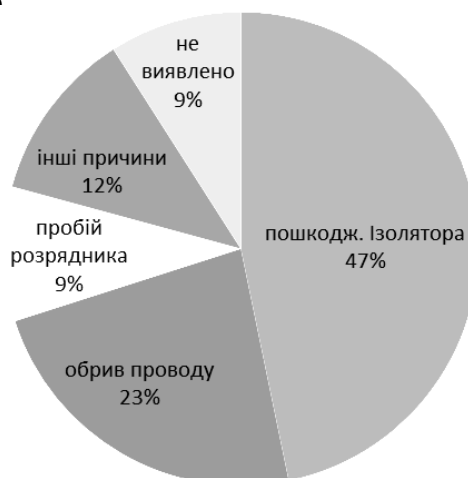


Рис. 4 – Усереднений за шість років розподіл за видами знеструмлень ПЛ 6-10кВ, які викликані ОЗЗ по ПАТ «Чернігівобленерго»

Аналіз ретроспективних даних по пошкодженням в різних РЕМ ПАТ «Чернігівобленерго» вказує на те, що найбільша кількість пошкоджень ізоляції від загальної сукупності пошкоджень спостерігається у Варвинському, Срібнянському, Городнянському та Ріпкинському РЕМ (78%, 62,5%, 61,6% та 59,1% відповідно від загальної сукупності пошкоджень), а найменша – Ніжинському, Чернігівському та Носівському РЕМ (34,7%, 34,8% та 36,8% відповідно від загальної сукупності пошкоджень).

Згідно з діючих норм середня тривалість пошуку ОЗЗ в мережах 6-10кВ у більшості випадків не повинна перевищувати 2 годин, проте статистика по ПАТ «Чернігівобленерго» показує, що такі пошкодження можуть шукатися і значно більший час. Подекуди час пошуку може сягати і декількох діб. Це викликано тим, що більшість пошкоджень, пов'язаних із пробоем штирьової ізоляції, після утворення можуть самоусуватися, а потім знову виникати. Тому експлуатаційний персонал не встигає знайти такі пошкодження «традиційними» способами, що використовуються в експлуатації, що погіршує експлуатаційні показники надійності, приводячи, в деяких випадках, до переходу ОЗЗ у міжфазні замикання із подальшим знеструмленням споживачів електричної енергії [11,12].

Інтегральним показником надійності електропостачання споживачів вважається показник недовідпуску електричної енергії [4,6,13], який розраховується за формулою:

$$\Delta W = \bar{P} \cdot \omega \cdot \tau, \quad (1)$$

де \bar{P} – середня потужність споживачів, кВт;

ω – частота знеструмлень споживачів, відкл/рік (в нашому випадку стосується знеструмлень, які викликані пошкодженням ПЛ 6-10 кВ під час ОЗЗ);

τ – середня тривалість відновлення електропостачання, годин.

У табл.1 наведено розподіл недовідпуску електричної енергії споживачам за видами пошкоджень ПЛ 6-10 кВ ПАТ «Чернігівобленерго», які викликані ОЗЗ, а табл. 2 – недовідпуск

електричної енергії по РЕМ ПАТ «Чернігівобленерго» із-за пошкодження ізоляторів.

З табл. 1 видно, що найбільший середньорічний недовідпуск електричної енергії спостерігається при пошкодженнях штирьової ізоляції ПЛ 6-10 кВ і сягає 45,9% від загального середньорічного недовідпуску, що у іменованих одиницях становить 21,263 МВт-год/рік. Найбільші середньорічні значення недовідпуску електричної енергії спостерігаються по Чернігівському, Корюківському та Ніжинському РЕМ і складають 3,802, 1,925 та 1,465 МВт-год/рік (див. табл.2). Зіставляючи дані в табл.2 з сумарними довжинами ПЛ 6-10 кВ по РЕМ можна бачити, що найбільший середньорічний недовідпуск віднесений до 1км довжини спостерігається у Чернігівському РЕМ – 3,9 кВт-год/рік, а найменший у Прилуцькому, Носівському і Бахмацькому – 0,7; 0,8 і 0,8 кВт-год/рік відповідно. Це пов'язано з тим, що більшість електричних мереж 6-10 кВ у Чернігівському РЕМ збудовані набагато раніше, ніж у Прилуцькому, Носівському і Бахмацькому.

Недовідпуски електричної енергії споживачам, які наведені в табл. 2, є орієнтовними, оскільки визначаються експлуатаційним персоналом за навантаженням, яке передувало знеструмленню. Проте за час знеструмлення навантаження могло дещо змінитися, відповідно зміниться і недовідпуск електричної енергії. Найбільш правильним підходом щодо визначення недовідпуску електричної енергії є прогнозування графіка навантаження на фідері, який відключається. Один з таких підходів викладений у [14].

В даній час на підстанціях 35-110 кВ ПАТ «Чернігівобленерго» активно запроваджується автоматизована система управління технологічними процесами на базі Місго SCADA фірми ABB, яка після реалізації алгоритму прогнозування дозволить більш точно визначати недовідпуски електричної енергії споживачам.

Тривалість знеструмлення споживачів, викликана ОЗЗ, розрахована за формулою:

$$\theta_{np} = \frac{\Delta W}{\bar{P}}. \quad (2)$$

Таблиця 1 – Розподіл недовідпуску електричної енергії по причинах знеструмлення за 2012-2017 роки

Причина пошкодження	Недовідпуск електричної енергії, МВт-год/рік у році						Середньорічний недовідпуск електричної енергії	
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	МВт-год/рік	%
Пошкодження ізолятора	23,465	18,44	15,64	25,71	20,51	23,81	21,263	45,9
Обрив проводу	11,947	2,34	10,857	14,096	14,106	13,39	11,123	24,0
Пробій розрядника	1,311	7,8	1,11	3,82	5,66	7,66	4,560	9,8
Інші причини	6,429	5,62	2,81	4,613	4,06	4,31	4,640	10,0
Не виявлено	5,951	1,05	3	1,17	12,093	5,234	4,750	10,3

Таблиця 2 – Недовідпуск електричної енергії по РЕМ з 2012 по 2017 роки через пошкодження ізоляторів

Назва РЕМ	Недовідпуск електричної енергії через пошкодження ізоляторів							
	значення у МВт·год/рік у році						середньорічне значення	
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	МВт·год/рік	%
Бахмацький	0,293	0,43	0,38	1,1	0,5	1,03	0,622	2,9
Бобровицький	1,4	0,82	0,81	1,1	1,11	1,04	1,047	4,9
Борзнянський	0,96	0,73	0,05	1,3	0,98	0,45	0,745	3,5
Варвинський	0,25	0,31	2,1	0,43	0,53	0,39	0,668	3,1
Городнянський	0,972	0,87	0,81	0,89	0,86	1,1	0,917	4,3
Ічнянський	0,67	0,93	0,83	0,64	1,54	1,32	0,988	4,6
Козелецький	1,71	1,5	1,06	1,12	1,74	1,34	1,412	6,6
Коропський	0,23	0,51	0,72	0,21	0,35	1,3	0,553	2,6
Корюківський	3,45	2,1	0,89	1,74	2,57	0,8	1,925	9,1
Куликівський	0,87	0,18	0,27	0,35	0,62	1,1	0,565	2,7
Менський	0,78	3,33	1,43	1,63	0,23	1,2	1,433	6,7
Н-Сіверський	0,78	0,32	0,51	0,45	1,2	1,32	0,763	3,6
Ніжинський	1,27	1,12	0,53	0,14	0,21	5,52	1,465	6,9
Носівський	0,23	0,15	0	1,1	0,2	0,43	0,352	1,7
Прилуцький	0,43	0,1	0,59	0,43	1,34	0,82	0,618	2,9
Ріпкинський	1,03	0,94	1,9	1,43	0,32	0,98	1,100	5,2
Семенівський	1,33	0,57	0,09	0,54	1,22	0,42	0,695	3,3
Срібнянський	0,32	0,45	0,54	0,52	0,34	0,45	0,437	2,1
Талалаївський	0,19	0,42	0,51	0,29	0,94	0,87	0,537	2,5
Чернігівський	5,87	2,12	1,34	9,87	2,29	1,32	3,802	17,9
Щорський	0,43	0,54	0,28	0,43	1,42	0,61	0,618	2,9

Розрахунки показують, що середнє значення тривалості одного знеструмлення, яке викликане тільки ОЗЗ, складає біля 1,2 год/(рік·відкл), що суттєво погіршує такий показник надійності електропостачання, як SAIDI [4]. Слід зазначити, що за 2018 рік середнє значення показника SAIDI (який включає тривалості знеструмлень як під час ОЗЗ, так і під час міжфазних замикань) для країн ЄС склало 72,04 хвилини/рік, що значно менше показника для вітчизняних мереж на одне відключення тільки під час ОЗЗ.

З вищезазначеного видно, що для поліпшення надійності електропостачання споживачів у мережах 6-10 кВ ПАТ «Чернігівобленерго» та для доведення показників надійності до величин, що не перевищують регламентовані Національною Комісією, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг, необхідно в першу чергу зменшити тривалість знеструмлень, пов'язаних з пошуком пошкодженої ізоляції під час ОЗЗ. Один з найменш витратних способів, що дозволяє зменшити тривалість таких знеструмлень викладено у [7,15].

мережах 6-10кВ ПАТ «Чернігівобленерго» показав, що найбільша кількість знеструмлень виникає через пошкодження штирьової ізоляції (46,8%). Другою основною причиною є обриви проводу та в'язок проводу до ізоляторів ПЛ (23,3%).

Встановлено, що найбільший середньорічний недовідпуск електричної енергії спостерігається також при пошкодженнях штирьової ізоляції ПЛ 6-10 кВ і сягає 45,9% від загального середньорічного недовідпуску, що у іменованих одиницях становить 21,2 МВт·год/рік. Середнє значення тривалості одного знеструмлення, яке викликане тільки ОЗЗ, складає біля 1,2 год/(рік·відкл), що суттєво погіршує такий показник надійності електропостачання, як SAIDI.

Для поліпшення надійності електропостачання споживачів у мережах 6-10 кВ ПАТ «Чернігівобленерго» та для доведення показників надійності до величин до регламентованих нормативів необхідно в першу чергу слід застосовувати методи, що зменшать кількість та тривалість знеструмлень, пов'язаних з пошуком пошкодженої ізоляції під час ОЗЗ.

Список літератури

1. Стафійчук, В. Г. Посібник з вивчення правил улаштування електроустановок. Розділ 1. Загальні правила. Глава 1.7 Заземлення і захисні заходи електробезпеки / В. Г. Стафійчук, В. Г. Сантоцький, І.

Висновки

Проведений аналіз ретроспективної інформації з 2012 по 2017 роки по відмовам, викликаним ОЗЗ в

Я. Капець, А. О. Квіцинський. – К.: «АСЕЛЕНЕРГО», 2008. – 156 с.

2. **Chowdhury, Ali A.** Power distribution system reliability. Practical Methods and Applications / **Ali A. Chowdhury, Don O. Koval.** IEEE Press, 2009. – 531 p.
3. **Циганенко, Б. В.** Перспективи переведення розподільних мереж України на номінальну напругу 20 кВ / **Б. В. Циганенко** // *Наукові праці БНТУ.* – 2016. – №1. – С. 1-4.
4. **Ali, K.** Reliability Analysis of Power Distribution System / **K. Ali, R. Syahputra, R.O. Wiyagi** // *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY).* – 2017. – V.1, Issue 2. – P. 67-74.
5. **Billinton, R.** Reliability-network-equivalent approach to distribution-system-reliability evaluation / **R. Billinton, P. Wang** // *Generation, Transmission and Distribution, IEEE Proceedings.* – 1998. – Vol. 145. – P. 149-153. – doi: 10.1049/ip-gtd:19981828.
6. **Буйний, Р. О.** Автоматичне секціонування розподільних електричних мереж напругою 6–10 кВ із застосуванням роз'єднувачів нового покоління / **Р. О. Буйний, І. В. Діхтярук, В. В. Зорін** // *Технічна електродинаміка.* – 2014. – № 3. – С. 70-75.
7. **Безручко, В. М.** Використання GSM технологій при ідентифікації місць однофазних замикань на землю в електричних мережах з ізольованою нейтраллю зі штирровою ізоляцією / **В. М. Безручко, Р. О. Буйний, А. Ю. Строгий, В. І. Ткач** // *Технічна електродинаміка.* – 2018. – 5. – С. 96-99. – doi: 10.15407/techne2018.05.096.
8. **СОУ-Н МПЕ 40.1.20.576.** Методичні вказівки з обліку та аналізу в енергосистемах технічного стану розподільчих мереж напругою 0,38-20 кВ з повітряними лініями електропередачі – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2005. – 92 с.
9. **Gilvanejad, M.** A methodology to include real-life failure data in the failure rate estimation of power distribution systems / **M. Gilvanejad, H. Askarian Abyaneh, K. Mazlumi** // *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences.* – 2017. – Vol. 25. – P. 1082-1094. – doi: 10.3906/elk-1509-5.
10. **Balijepalli, N.** Modeling and analysis of distribution reliability indices / **N. Balijepalli, S. S. Venkata, R. D. Christie** // *IEEE Transactions on Power Delivery.* – 2004. – Vol. 19. – P. 1950-1955. – doi: 10.1109/TPWRD.2004.829144.
11. **Bayliss, C. R.** Transmission and Distribution Electrical Engineering / **C. R. Bayliss, B. J. Hardy.** – Elsevier Ltd, 2007. – 1040 p.
12. **Das, D.** Electrical Power Systems / **D. Das.** – New Age International Publishers, 2006. – 484 p.
13. **Діхтярук, І. В.** Визначення раціональних місць встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів в розподільних мережах напругою 10 кВ / **І. В. Діхтярук** // *Технічна електродинаміка.* – 2014. – №4. – С. 53-54.
14. **Sun, X.** An Efficient Approach to Short-Term Load Forecasting at the Distribution Level / **X. Sun, P. B. Luh, K. W. Cheung, et al.** // *IEEE Transactions on Power Systems.* – 2016. – Vol. 31. – P. 2526-2537. – doi: 10.1109/TPWRS.2015.2489679.
15. **Bezruchko, V.** Integration of New Single-Phase-to-Ground Faults Detection Devices into Existing SmartGrid Systems / **V. Bezruchko, R. Buinyi, A. Strogii, V. Tkach** // *IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), IEEE Proceedings.* – 2019. – P. 84-87. – doi: 10.1109/ESS.2019.8764237.

References (transliterated)

1. **Stafiichuk, V. H., Santotskyi, V. H., Kapets, I. Ia., Kvitsynskyi, A. O.** Posibnyk z vyvchennia pravyl ulashtuvannia elektroustanovok. Rozdil 1. Zahalni pravyla. Hlava 1.7 Zazemlennia i zakhysni zakhody elektrobezpeky [Guide for the study of electrical installation rules. Section 1 General rules. Chapter 1.7 Grounding and protective measures of electrical safety]. Kyiv: ASELENERHO, 2008, 156.
2. **Ali, A., Chowdhury, Koval, Don O.** Power distribution system reliability. Practical Methods and Applications. IEEE Press, 2009, 531.
3. **Tsyhanenko, B. V.** Perspektyvy perevedennia rozpodilnykh merezh Ukrainy na nominalnu napruhu 20 kV [Prospects for the transfer of distribution networks in Ukraine rated voltage 20 kV]. *Naukovi pratsi VNTU [Scientific works of VNTU],* 2016, 1, 1-4.
4. **Ali, K., Syahputra, R., Wiyagi, R. O.** Reliability Analysis of Power Distribution System. *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY),* 2017, 1(2), 67-74.
5. **Billinton, R., Wang, P.** Reliability-network-equivalent approach to distribution-system-reliability evaluation. *Generation, Transmission and Distribution, IEEE Proceedings,* 1998, 145, 149-153, doi: 10.1049/ip-gtd:19981828.
6. **Buinyi, R., Dikhtyaruk, I., Zorin, V.** Avtomatychne sektionuvannia rozpodilnykh elektrychnykh merezh napruhoiu 6–10 kV iz zastosuvanniam roziednuvachiv novoho pokolinnia [The automatic sectionalization of the distributing networks with high voltage of 6 10 kV with application the disconnectors of new generation]. *Tekhnichna elektrodynamika [Technical electrodynamics],* 2014, 3, 70-75.
7. **Bezruchko, V. M., Buinyi, R. O., Strohii, A. Iu., Tkach, V. I.** Vykorystannia GSM tekhnolohii pry identyfikatsii mistis odnofaznykh zamykan na zemliu v elektrychnykh merezhakh z izolovanoiui neutralliu zi shtyrovoiui izoliatsiieiui [Application of GSM technology for identification of phase-to-ground faults in electric networks with isolated neutral and pin-type isolation]. *Tekhnichna elektrodynamika [Technical electrodynamics],* 2018, 5, 96-99, doi: 10.15407/techne2018.05.096.
8. **SOU-N MPE 40.1.20.576.** Metodichni vkazivky z obliku ta analizu v enerhosystemakh tekhnichnoho stanu rozpodilnykh merezh napruhoiu 0,38-20 kV z povitrianymy liniyamy elektropredachi [Methodical instructions for the accounting and analysis in the power systems of the technical state of distribution networks with voltage 0,38-20 kV with air lines of power transmission]. Kyiv: OEP «HRIFRE», 2005, 92.
9. **Gilvanejad, M., Askarian Abyaneh, H., Mazlumi, K.** A methodology to include real-life failure data in the failure rate estimation of power distribution systems. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences,* 2017, 25, 1082-1094, doi: 10.3906/elk-1509-5.
10. **Balijepalli, N., Venkata, S. S., Christie, R. D.** Modeling and analysis of distribution reliability indices. *IEEE Transactions on Power Delivery,* 2004, 19, 1950-1955, doi: 10.1109/TPWRD.2004.829144.
11. **Bayliss, C. R., Hardy, B. J.** Transmission and Distribution Electrical Engineering. Third Edition. *Elsevier Ltd,* 2007, 1040.
12. **Das, D.** Electrical Power Systems. New Age International Publishers, 2006, 484.

13. **Dikhtyaruk, I. V.** Vyznachennia ratsionalnykh mist vstanovlennia avtomatychnykh sektionuiuchykh roziednuvachiv v rozpodilnykh merezhakh napruhoiu 10 kV [Definition of rational installation location of automatic partitioning switching devices in the distribution networks with the voltage of 10 kV]. *Tekhnichna elektrodynamika [Technical electrodynamics]*, 2014, **4**, 53-54.
14. **Sun, X., Luh, P. B., Cheung, K. W., et al.** An Efficient Approach to Short-Term Load Forecasting at the Distribution Level. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2016, **31**, 2526-2537, doi: 10.1109/TPWRS.2015.2489679.
15. **Bezruchko, V., Buinyi, R., Strogii, A., Tkach, V.** Integration of New Single-Phase-to-Ground Faults Detection Devices into Existing SmartGrid Systems. *IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, *IEEE Proceedings*, 2019, 84-87, doi: 10.1109/ESS.2019.8764237.

Відомості про авторів (About authors)

Ткач Володимир Іванович – ПАТ «Чернігівобленерго», інженер відділу перспективного розвитку, м. Чернігів, Україна; e-mail: v.tkach1972@gmail.com.

Volodymyr Tkach – PJSC «Chernihivoblenergo», engineer of the department of perspective development, Chernihiv, Ukraine; e-mail: v.tkach1972@gmail.com.

Безручко Вячеслав Михайлович – кандидат технічних наук, Чернігівський національний технологічний університет, доцент кафедри електричних систем і мереж, м. Чернігів, Україна; ORCID: 0000-0002-3705-8543; e-mail: slavajm@meta.ua.

Viacheslav Bezruchko – Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Electrical Power Systems and Networks, Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-3705-8543; e-mail: slavajm@meta.ua.

Буйний Роман Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет, доцент кафедри електричних систем і мереж, м. Чернігів, Україна; ORCID: 0000-0002-5432-2924; e-mail: buinyiroman@gmail.com.

Roman Buinyi – Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Associate Professor, Department of Electrical Power Systems and Networks, Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-5432-2924; e-mail: buinyiroman@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ткач, В. І. Вплив однофазних замикань на землю на експлуатаційні показники надійності повітряних ліній 6-10 кВ ПАТ «Чернігівобленерго» / **В. І. Ткач, В. М. Безручко, Р. О. Буйний** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 1. – С. 120-126. – doi:10.20998/2413-4295.2019.01.14.

Please cite this article as:

Tkach, V., Bezruchko, V., Buinyi, R. The effect of single-phase-to-ground faults on the operational reliability indicators of overhead lines 6-10 kV PJSC «Chernihivoblenergo». *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **1**, 120-126, doi:10.20998/2413-4295.2019.01.14.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ткач, В. И. Влияние однофазных замыканий на землю на эксплуатационные показатели надежности воздушных линий 6-10 кВ ПАО «Черниговоблэнерго» / **В. И. Ткач, В. М. Безручко, Р. А. Буйный** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 1. – С. 120-126. – doi:10.20998/2413-4295.2019.01.14.

АННОТАЦІЯ Однофазні замикання на землю в сетях с изолированной нейтралью приводят к образованию ненормального режима работы сети и, в большинстве случаев, переходят в короткие замыкания, вызывая отключения потребителей и ухудшая показатели надежности электроснабжения. Особенно актуальной эта проблема является в сетях 6-10кВ операторов систем распределения в Украине и постсоветских странах, в которых большинство сетей состоят из разветвленных воздушных линий электропередачи. Не исключением является и сети ПАО «Черниговоблэнерго». Существует много путей улучшения показателей надежности. Одни пути направлены на повышение структурной надежности электрической сети, а другие - надежности электроснабжения. Как правило, первые должны применяться для новых электрических сетей, а вторые - для существующих, находящихся в эксплуатации. Следует отметить, что в ПАО «Черниговоблэнерго» вышеуказанные электрические сети эксплуатируются более 50 лет. В условиях отсутствия инвестиций для полной замены существующих электрических сетей должны применяться такие пути, которые будут наименее затратными и наиболее эффективными. Для их обоснованного выбора необходимо знать распределение видов повреждений в таких сетях и их влияние на эксплуатационные показатели надежности. В работе проанализирована статистическая информация по однофазным замыканиям на землю в электрических сетях 6-10 кВ всех структурных подразделений ПАО «Черниговоблэнерго» с 2012 по 2017 годы. Установлено, что наибольшее количество отключений приходится на повреждения штыревой изоляции (46,8% от общего количества) и вызывает среднегодовой недоотпуск электрической энергии 21,263 МВт·ч/год (45,9% от общего среднегодового недоотпуска). При этом среднее время одного отключения, вызванное только замыканиями на землю, составляет около 1,2 ч/(год-откл), что превышает допустимые нормы. Показано, что для улучшения надежности электроснабжения потребителей в сетях 6-10 кВ ПАО «Черниговоблэнерго» необходимо, в первую очередь, уменьшить продолжительность отключений, связанных с поиском поврежденной изоляции при однофазных замыканиях на землю.

Ключевые слова: распределительная сеть; изолированная нейтраль; воздушная линия, замыкания на землю; штыревая изоляция; надежность электроснабжения; обесточивание

Поступила (received) 28.08.2019